

AD-A137 635

ETUDE DE LA RECHARGE DE L'ACCUMULATEUR PLOMB-ACIDE RED
CAMEL ENTRE +20 C. (U) DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT
OTTAWA (ONTARIO) L BROSSARD ET AL. OCT 83

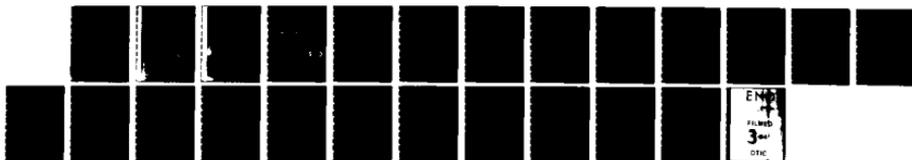
1/1

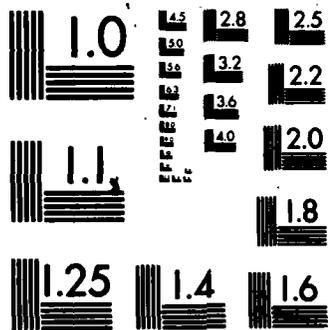
UNCLASSIFIED

DREO-TN-83-36

F/G 10/3

NL





MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS-1963-A

3



National
Defence

Défense
nationale



ADA137635

ÉTUDE DE LA RECHARGE DE L'ACCUMULATEUR PLOMB-ACIDE RED CAMEL ENTRE +20°C ET -30°C

par

L. Brossard, G. Verville

et

R.W. Gorman

DTIC
ELECTE
JAN 31 1984
S B

CENTRE DE RECHERCHES POUR LA DÉFENSE OTTAWA

NOTE TECHNIQUE 83-36

DISTRIBUTION STATEMENT A
Approved for public release
Distribution Unlimited

Canada

October 1983
Ottawa

84 01 30 145

A Study of the Rechargeability of
No. R: d Camel Lead-acid Battery
at $+20^{\circ}\text{C}$ and -30°C

1



National Défense
Defence nationale

ÉTUDE DE LA RECHARGE DE L'ACCUMULATEUR PLOMB-ACIDE RED CAMEL ENTRE +20°C ET -30°C

par

L. Brossard, G. Verville et R.W. Gorman

Sources chimiques

Division de la transformation de l'énergie

DTIC
ELECTE
S **JAN 3 1 1984** D
B

CENTRE DE RECHERCHES POUR LA DÉFENSE OTTAWA

NOTE TECHNIQUE 83-36

**PCN
25A**

DISTRIBUTION STATEMENT A

**Approved for public release
Distribution Unlimited**

**Octobre 1983
Ottawa**

RÉSUMÉ

La recharge de l'accumulateur au plomb Red Camel du groupe 24 à été déterminée entre +20°C et -30°C. Une diminution considérable de la vitesse de recharge a été observée lorsque la température a été réduite en dessous de 0°C. Pour un voltage limite imposé de 14.3 V et une durée de charge de 7 heures, les rendements en courant (Rc) et en énergie électrique (Re), calculés en tenant compte du phénomène de récupération de la capacité, sont respectivement 92 ±6% et 62 ±4% aux températures inférieures à 0°C. Le courant utile de recharge augmente lorsque le voltage limite imposé passe de 13.7 à 14.3 V aux basses températures. Au-delà de 14.3 V les réactions parasites consomment une partie importante du courant supplémentaire.

ABSTRACT

The rechargeability of a group 24 ESB Red Camel, lead-acid battery was measured between +20°C and -30°C. It was observed that the charge current dropped considerably when the temperature was reduced below 0°C. The current efficiency (Rc) and energy efficiency (Re) including recovery after rest, for an applied voltage of 14.3 V and charge time of seven hours were 92 ±6% and 62 ±4% respectively at temperatures below 0°C. It was also observed that the rechargeability was improved at low temperatures when the applied voltage was increased from 13.7 to 14.3 V. Above 14.3 V, however, parasitic reactions prevented a further increase in rechargeability.



Accession Fee	
NTIS	<input checked="" type="checkbox"/>
DTIC	<input type="checkbox"/>
Unann	<input type="checkbox"/>
Justi	<input type="checkbox"/>
By _____	
Distribution /	
Availability Codes	
Dist	Avail and/or Special
A-1	

INTRODUCTION

Les accumulateurs au plomb sont couramment utilisés comme source d'énergie pour le démarrage des véhicules à moteur. Cependant en deçà de -20°C , on assiste à une diminution importante des performances en décharge rapide alors que la vitesse de recharge devient presque nulle (1, 2).

Par ailleurs, le comportement en décharge rapide de l'accumulateur au plomb se caractérise par un certain "phénomène de récupération de la capacité" (3) que l'on peut exprimer ainsi: suite à une décharge rapide continue à une tension d'arrêt prédéterminée, un accumulateur laissé à l'abandon en circuit ouvert redonne à nouveau une certaine capacité lors d'un deuxième essai en décharge rapide effectué dans des conditions identiques à la décharge précédente. La capacité recouvrée lors de la deuxième décharge est étroitement reliée à la période en circuit ouvert. Lors des études antérieures, ce phénomène a été souvent négligé dans l'analyse des performances aux basses températures.

Au cours des dernières années, les performances en décharge rapide ont fait l'objet d'améliorations constantes. Il nous a semblé intéressant de vérifier si certaines améliorations apportées pouvaient également amener une meilleure recharge des accumulateurs. Nous avons examiné le comportement en recharge d'un accumulateur au plomb ayant préalablement subi une décharge rapide et nous avons tenu compte du phénomène de récupération de la capacité dans le calcul des rendements en courant et en énergie électrique.

CONDUITE DES ESSAIS

Lors de tous les essais, le courant limite de recharge était fixé à 5A et les décharges rapides continues étaient effectuées à courant constant 192 A (3C) jusqu'à une tension d'arrêt de 6 volts. Les décharges rapides ont été réalisées à l'aide d'un bloc d'alimentation Hewlett Packard 6469C relié en série avec des résistances ajustables. Le courant et la tension aux bornes de l'accumulateur étaient mesurés à l'aide d'un ampèremètre et d'un multimètre numérique et transmis sur papier graphique à une bande enregistreuse Hewlett Packard 7100B. Un thermistor immergé dans l'électrolyte et branché aux bornes d'un multimètre permettait de mesurer la température interne de l'accumulateur. Les résultats relatifs aux mesures de températures et les caractéristiques de l'accumulateur au plomb Red Camel étudié ont été présentés dans une publication antérieure (4).

Décharge préalable aux basses températures et série de recharges interrompues

L'accumulateur, chargé à température ambiante, était introduit dans une chambre Thermotron pour un séjour de 24 heures en circuit ouvert à chacune des températures étudiées. L'accumulateur était ensuite soumis à une décharge rapide dans les instants qui suivaient son retrait de la chambre froide. La décharge complétée, l'accumulateur était remis dans la chambre froide où il reposait 16 heures en circuit ouvert avant d'être rechargé à un voltage limité respectivement à 13.7, 14.3 et 16.0 volts. Seize périodes (30 minutes sous charge - 15 minutes en circuit ouvert) se succédaient pour totaliser 8 heures de recharge. L'accumulateur subissait ensuite un nouveau cycle décharge-recharge à température ambiante avant de subir une nouvelle série de tests à une autre température.

Décharge préalable à 20°C et quantification du phénomène de récupération de la capacité

Dans un premier temps l'accumulateur préalablement déchargé à +20°C et laissé en circuit ouvert pendant 24 heures a été mis sous charge continue à un voltage limite de 14.3 volts aux températures environnantes comprises entre 0°C et -30°C. A toutes les températures, les durées de la mise sous charge ont été de 7 h. Des mesures ont aussi été obtenues à -30°C pour des durées de mise sous charge allant jusqu'à 168 h. La recharge terminée, l'accumulateur était retiré de la chambre froide et il subissait une 2^{ème} décharge lorsque sa température atteignait +20°C. La quantité d'électricité ayant traversée l'accumulateur durant la recharge (C_C) et la capacité après la 2^{ème} décharge à +20°C (C_D) ont été enregistrées.

Dans un deuxième temps, suite à la décharge à +20°C, l'accumulateur a seulement été laissé en circuit ouvert dans la chambre froide aux différentes températures et la capacité obtenue lors de la 2^{ème} décharge à +20°C (C_R), qui correspond au phénomène de récupération, a été enregistrée.

RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSION

Décharge préalable aux basses températures

Un exemple typique illustrant le début des tests de recharges interrompues est reproduit à la fig. 1. Dans cet exemple, le voltage limite de charge était fixé à 14.3 V et l'accumulateur était à 0°C.

On constate que le courant de recharge demeure à la limite maximale imposée de 5 A durant les 80 premières minutes. A partir de la troisième période de recharge (60-90 min.), le courant baisse dans les instants qui précèdent le retour en circuit ouvert. Avec un nombre croissant de périodes de recharge, cet abaissement du courant en deçà de 5 A survient de plus en plus tôt tandis que le courant (i_A) à la fin de la période de 30 minutes

de recharge va en décroissant. Le courant (i_A) devient très faible lors des dernières périodes de recharge; il est de 1 A seulement après 6 h de recharge (fig. 2). Deux séries d'essais, effectués dans des conditions expérimentales identiques, ont montré un écart de 10% dans les valeurs de i_A .

Par ailleurs, durant les premières heures de recharge, la tension de l'accumulateur tend à augmenter vers la valeur du voltage de charge. A la fig. 3, V_A représente la tension aux bornes de l'accumulateur à la fin des périodes de recharge de 30 minutes. On observe que V_A s'élève rapidement durant les 2 premières heures de recharge; il vaut initialement 12.6 V contre 13.9 V après 2 h. Par la suite l'augmentation de la tension V_A est faible et de l'ordre de 0.05 V/h. L'augmentation de V_A avec la durée de la recharge est compatible avec un accroissement de la tension de polarisation aux électrodes qui est favorisée par la diminution de la matière à être rechargée à la surface des plaques, par l'accumulation de gaz et l'accroissement de la concentration en acide dans les pores et leur voisinage immédiat.

Le comportement en terme de tension aux bornes de l'accumulateur en circuit ouvert est illustré sur la figure 4. Dans cet exemple, la tension à l'ouverture du circuit est égale à 14.2 V et décroît progressivement pour atteindre 13.4 V après 15 minutes et 13.3 après 30 minutes. Ce comportement peut s'expliquer par l'action combinée de la dilution de l'acide et le départ des gaz au voisinage des électrodes. A toute fin pratique la tension en circuit ouvert est à peu près constante après 15 minutes. Nous avons reproduit ces valeurs (V_B) sur la figure 3. On peut constater que V_B augmente légèrement avec les périodes de recharge. Toutefois l'écart qui sépare V_A de V_B est considérable, soit 0.78 V ou 0.13 V/cellule.

Le figure 5 illustre l'effet de la variation du voltage de charge sur le courant i_A . On remarque qu'une augmentation du voltage de charge se traduit par une augmentation de la période où i_A demeure à sa valeur limite imposée de 5 A. Suite à cette période le courant i_A demeure plus élevé lorsque le voltage de charge est plus élevé. De 13.7 à 14.3 volts l'augmentation du courant de charge se traduit par une augmentation sensible de la capacité recouvrée (tableau I). Toutefois l'augmentation du courant résultant de l'augmentation de 14.3 à 16 volts ne produit pas d'augmentation significative de la capacité recouvrée. Ce comportement suggère que l'augmentation du courant est surtout consommée par une ou plusieurs réactions étrangères à la transformation du sulfate de plomb, comme le dégagement d'hydrogène et d'oxygène ou la formation d'espèces intermédiaires non encore identifiées (5) par exemple.

Décharge préalable à +20°C et mesure du "phénomène de récupération"

La quantité d'électricité qui a traversé l'accumulateur durant la recharge (C_C), la capacité recouvrée après recharge (C_D) et la capacité C_R , qui correspond au "phénomène de récupération" sont présentées aux tableaux II et III.

Les résultats du tableau II indiquent qu'un abaissement de la température de recharge se traduit par une diminution sensible de la vitesse de recharge. Comparée à 0°C, la vitesse de recharge à -20°C est environ 2 fois moindre et à -30°C, 3 fois moindre. Ainsi à -30°C, après une recharge de 7 heures, C_C ne représente que 22% de la capacité recouvrable (capacité obtenue lors de la 1^{ère} décharge). Par contre C_R est sensiblement constant à 6 Ah. Ceci tend à confirmer qu'à la suite de la 1^{ère} décharge à +20°C, le phénomène de récupération de la capacité est déjà complété avant même que la température de l'accumulateur n'atteigne la température de la chambre froide. La valeur de 6 Ah est donc caractéristique du phénomène de récupération de la capacité à +20°C.

Une augmentation de la durée de charge se traduit par une augmentation de C_C et C_D . Toutefois, même après 168 heures de charge à -30°C, C_C ne représente que 73% de la capacité recouvrable (tableau III).

Le rendement en courant (r_c) a été calculé en tenant compte du "phénomène de récupération". r_c est défini comme étant égal à :

$$r_c = 100 \times \frac{(C_D - C_R)}{C_C}$$

Cette façon un peu particulière de calculer le rendement en courant n'est valable que dans la mesure où $C_C \leq C_{1\text{ère}} - C_R$. Ces conditions ayant été respectées lors de nos essais, on constate que le rendement en courant est supérieur à 85% pour l'ensemble des résultats et il atteint même 98% à -30°C (tableau II). Par ailleurs le rendement en courant tend à décroître lorsque la durée de la recharge augmente (tableau III).

L'énergie électrique consommée durant la recharge (E_C), le travail électrique effectué par l'accumulateur durant la décharge (E_D) et le travail électrique (E_R) associé au "phénomène de récupération" sont présentés aux tableaux IV et V. Le rendement en énergie (r_e) a aussi été calculé en tenant compte du "phénomène de récupération" et il est défini comme étant

$$r_e = 100 \times \frac{(E_D - E_R)}{E_C}$$

Les résultats indiquent qu'un abaissement de la température ou de la durée de recharge entraîne une diminution de E_C et de E_D . E_R est compris entre 47 et 59 Wh dans un domaine de température allant de +20°C à -30°C et des périodes de recharge de 7 h à 99 h.

Pour sa part, r_e est de l'ordre de grandeur de 63% entre 0 et -30°C lorsque les durées de recharge varient entre 7 et 99 h. Le rendement r_e est sensiblement plus faible à +20°C (48%).

CONCLUSIONS

Les accumulateurs au plomb présentent, encore aujourd'hui, un sérieux problème de recharge aux basses températures. La vitesse de recharge de l'accumulateur Red Camel étudié est trois fois plus lente à -30°C qu'à 0°C . Après une période de recharge de sept heures au voltage imposé de 14.3 V, la quantité d'électricité ayant traversé l'accumulateur ne représente que 22% de la capacité recouvrable.

La vitesse de recharge augmente légèrement lorsque le voltage imposé augmente de 13.7 V à 14.3 V. En dessous de 0°C , le voltage imposé de 16.0 V ne produit pas d'augmentation significative de la vitesse de recharge malgré un accroissement du courant de charge.

Pour un voltage limite de 14.3 V et une durée de charge de sept heures les rendements en courant et en énergie électrique, calculés en tenant compte du phénomène de récupération de la capacité, sont respectivement $92 \pm 6\%$ et $62 \pm 4\%$ aux températures inférieures à 0°C .

La capacité et le travail électrique associés au phénomène de récupération de la capacité à $+20^{\circ}\text{C}$ sont égaux à 6 ± 0.3 Ah et 50 ± 5 Wh, respectivement.

LISTE DES REFERENCES

1. L. Brossard and L.D. Gallop, "The Behaviour of the Military Battery type BB248/U Used to Start the Engine of the APC", DREO Technical Note No. 79-31 (1979).
2. E.M.L. Valeriote, "Investigation of Methods to Improve the Low Temperature Charge Acceptance of Lead-Acid Batteries", DREO Technical Note No. 79-24 (1979).
3. D.F. Taylor and E.G. Siwek, Society of Automotive Engineers, International Automotive Engineering Congress, Detroit, 1973, Paper No. 730252.
4. L. Brossard and R.W. Gorman, "Evaluation of Cranking Characteristics of Commercially Available Batteries Between Room Temperature and -40°C ", DREO Technical Note 79-30 (1979).
5. C. Gardner and F. Rocheleau, "Studies Related to the Low Temperature Recharge of the Lead-Acid System", DREO Technical Note No. 75-1 (1975).

LISTE DES FIGURES ET CONDITIONS EXPERIMENTALES

Figure 1 - Variation du courant de recharge en fonction du temps.

Conditions expérimentales: charge interrompue (30 minutes sous charge - 15 minutes circuit ouvert)

Température: 0°C

Courant limite de recharge: 5 A

Voltage de recharge: 14.3 V.

Figure 2 - Variation du courant i_A en fonction du temps.

Conditions expérimentales: Voir Figure 1.

Figure 3 - Variation des tensions V_A et V_B en fonction du temps.

V_A : tension mesurée aux bornes de l'accumulateur à la fin des périodes de recharge de 30 minutes.

V_B : tension de l'accumulateur après les périodes de 15 minutes à l'abandon.

Conditions expérimentales: Voir Figure 1.

Figure 4 - Variation de la tension de l'accumulateur en circuit ouvert.

V_B : tension après 15 minutes à l'abandon.

Figure 5 - Influence du voltage de recharge sur le courant i_A .

Conditions expérimentales: Voir Figure 1.

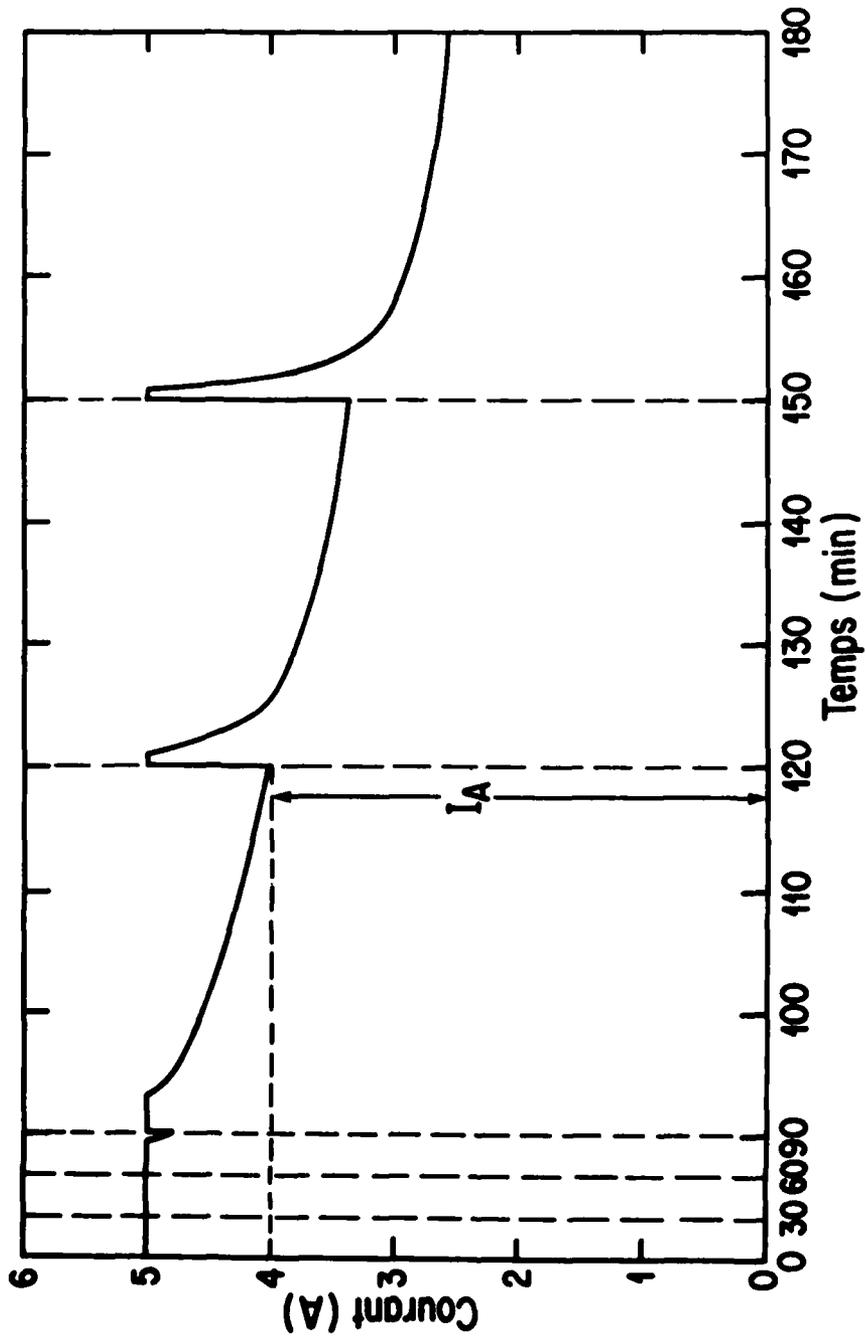


Figure 1 - Variation du courant de recharge en fonction du temps.

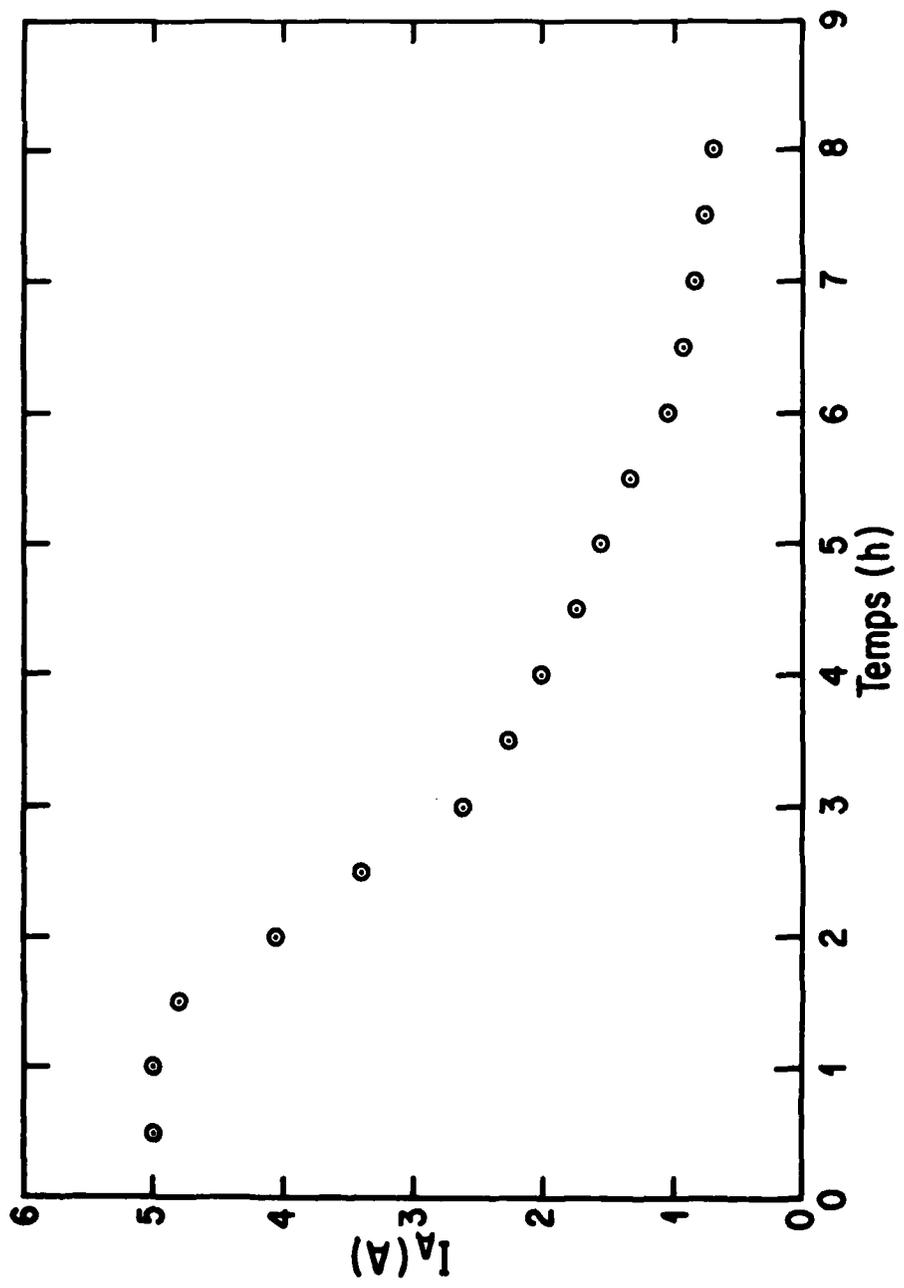


Figure 2 - Variation du courant i_A en fonction du temps.

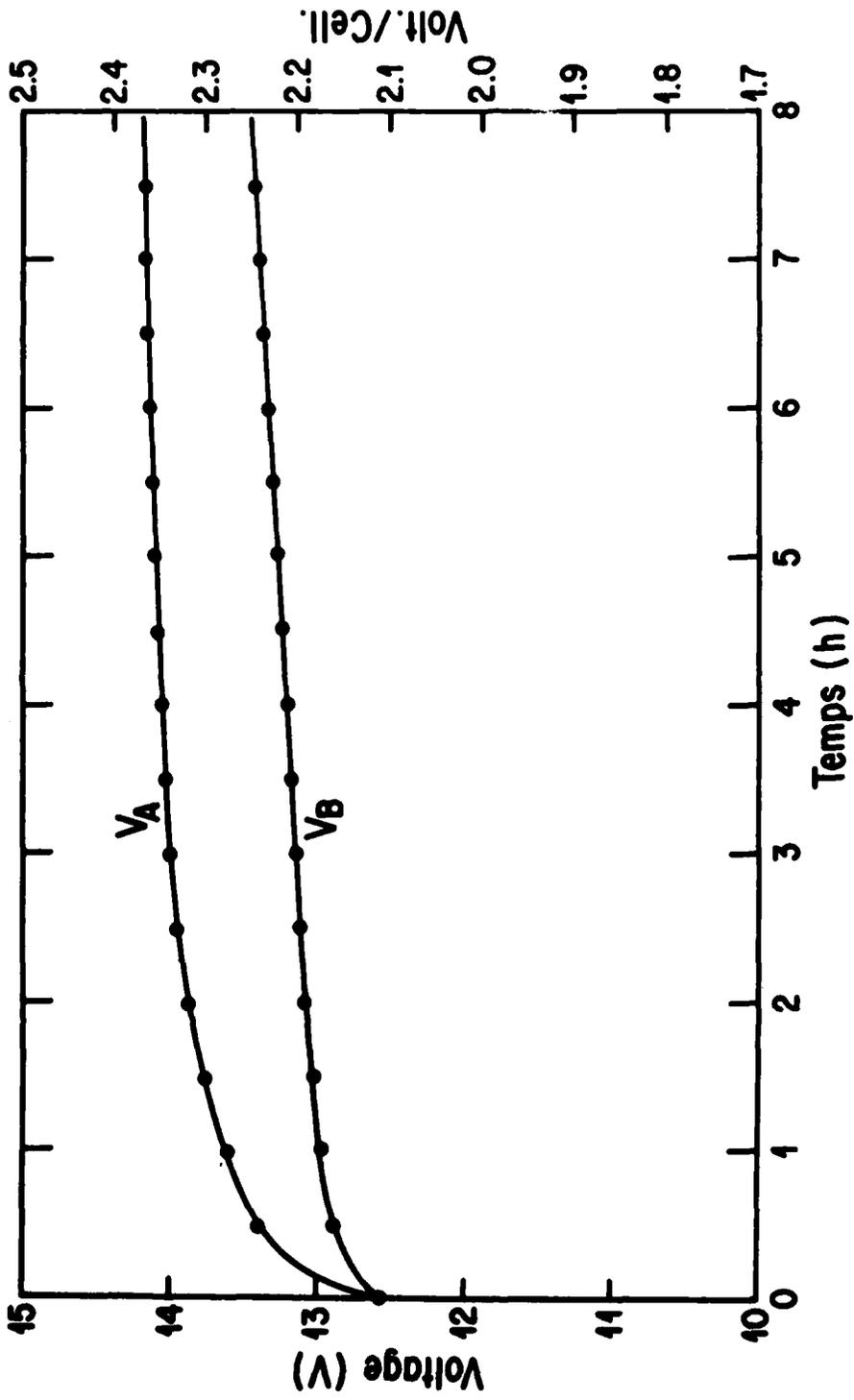


Figure 3 - Variation des tensions V_A et V_B en fonction du temps.

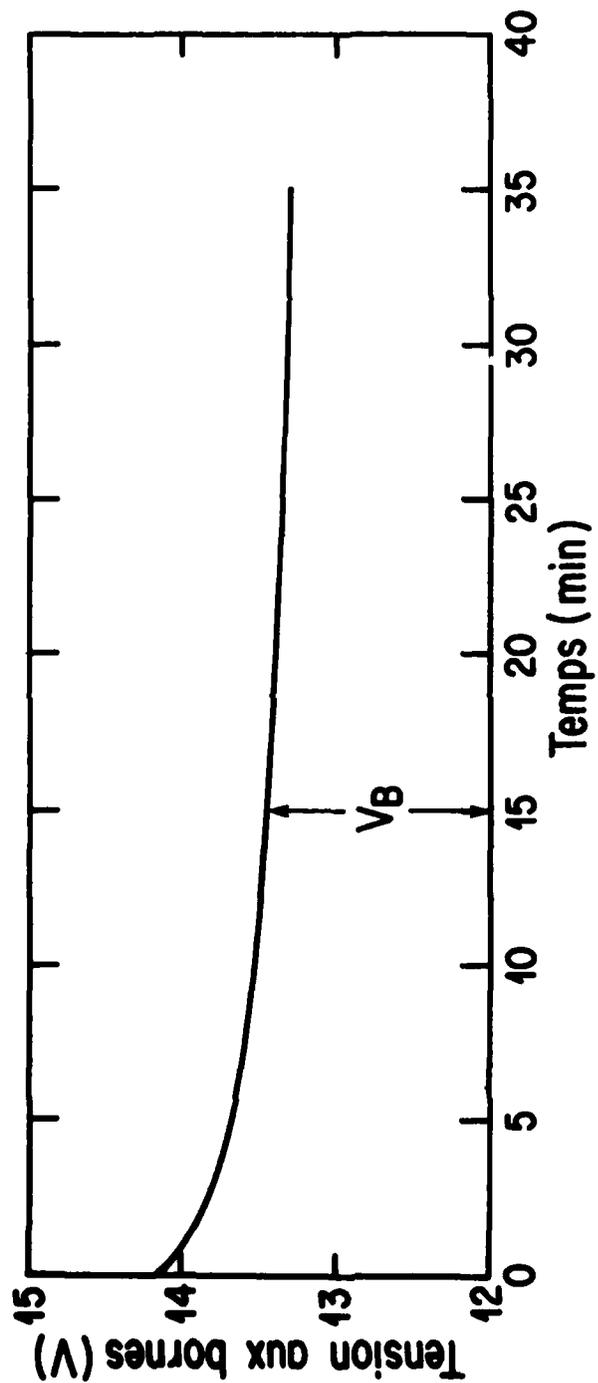


Figure 4 - Variation de la tension de l'accumulateur en circuit ouvert.

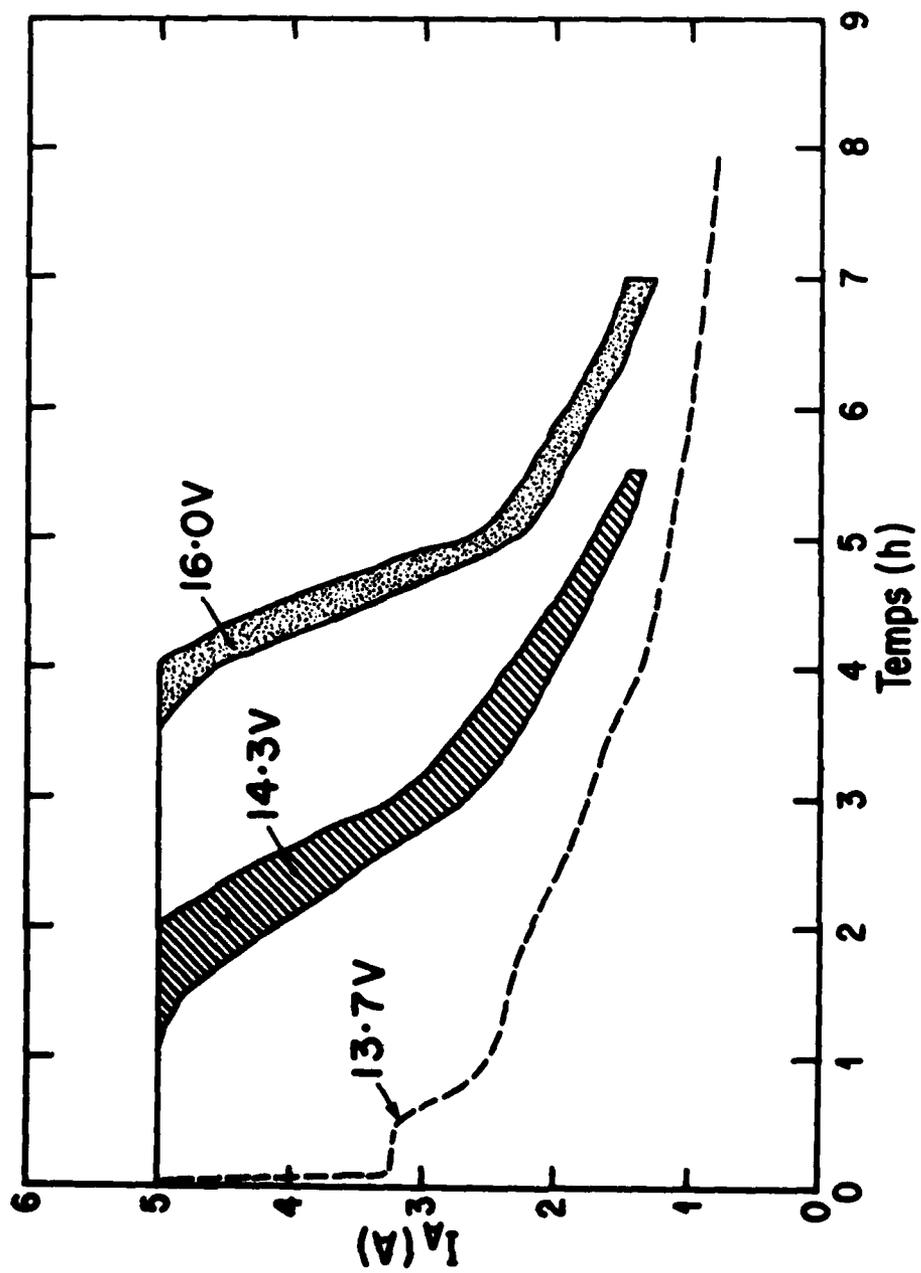


Figure 5 - Influence du voltage de recharge sur le courant i_A .

TABLEAU I

Capacités recouvrées à température ambiante en
fonction de la température et du voltage de recharge

Voltage de recharge (Volts)	Température de recharge (°C)	Capacité recouvrée à +20°C (AH)
13.7	20	24.0
	0	18.6
	-20	8.0
14.3	20	26.5
	0	23.3
	-20	11.5
16.0	20	28.2
	0	23.7
	-20	8.0

Capacité de la 1^{ière} décharge +20°C: 28.0 AH
0°C: 22.5 AH
-20°C: 11.5 AH

Conditions de charge: charge interrompue (30 minutes sous charge
- 15 minutes circuit ouvert)
durée totale de la charge: 8 h
courant limite de charge: 5 A.

TABLEAU II

Capacités recouvrées à température ambiante en
fonction de la température de recharge

Température de recharge °C	C _C (AH)	% de la capacité recouvrable	(C _D) (AH)	C _R (AH)	C _D -C _R (AH)	r _c %
+20				6.5		
0	20.7	73	24.2	5.6	18.6	90
-20	11.8	41	15.8	5.7	10.1	86
-30	6.2	22	12.1	6.0	6.1	98

Capacité de la 1^{ière} décharge à +20°C: 28.5 AH

Voltage de recharge: 14.3 V

Charge continue durant 7 heures.

TABLEAU III

Capacités recouvrées à température ambiante en
fonction de la durée de la recharge à -30°C

Durée de la recharge (h)	C_C (AH)	% de la capacité recouvrable	(C_D) (AH)	C_R (AH)	$C_D - C_R$ (AH)	r_c %
7	6.2	22	12.1	6.0	6.1	98
31	13.6	49	18.5	6.1	12.4	91
99	18.4	66	21.3	6.0	15.8	86
168	20.3	73	22.7	6.1	16.6	82

Capacité de la 1^{ière} décharge à $+20^{\circ}\text{C}$: 28.5 AH

Voltage de recharge: 14.3 V

Charge continue.

TABLEAU IV

Influence de la température de recharge sur
le rendement en énergie

Température de recharge °C	E_c (Wh)	E_D (Wh)	E_R (Wh)	$E_D - E_R$ (Wh)	r_c (%)
+20	403	254	59	195	48
0	292	239	47	192	66
-20	166	151	44	107	65
-30	104	116	54	62	60

TABLEAU V

Influence de la durée de recharge sur
le rendement en énergie

Durée de recharge (h)	E_C (Wh)	E_D (Wh)	E_R (Wh)	$E_D - E_R$ (Wh)	r_C (%)
8	104	116	54	62	60
31	204	182	55	127	62
99	268	206	52	154	58

NON CLASSIFIÉ

Security Classification

DOCUMENT CONTROL DATA - R & D		
(Security classification of title, body of abstract and indexing annotation must be entered when the overall document is classified)		
1. ORIGINATING ACTIVITY Centre de recherches pour la défense Ottawa	2a. DOCUMENT SECURITY CLASSIFICATION Non classifié	
	2b. GROUP	
3. DOCUMENT TITLE Étude de la recharge de l'accumulateur plomb-acide Red Camel entre +20°C et -30°C		
4. DESCRIPTIVE NOTES (Type of report and inclusive dates) Note Technique		
5. AUTHOR(S) (Last name, first name, middle initial) Brossard, L., Verville, G. and Gorman, R.W.		
6. DOCUMENT DATE Octobre 1983	7a. TOTAL NO OF PAGES 17	7b. NO. OF REFS 5
8a. PROJECT OR GRANT NO. 25A	9a. ORIGINATOR'S DOCUMENT NUMBER(S) CRDO NT 83-36	
8b. CONTRACT NO.	9b. OTHER DOCUMENT NO.(S) (Any other numbers that may be assigned this document)	
10. DISTRIBUTION STATEMENT Non-limitée		
11. SUPPLEMENTARY NOTES	12. SPONSORING ACTIVITY	
13. ABSTRACT La recharge de l'accumulateur au plomb Red Camel du groupe 24 à été déterminée entre +20°C et -30°C. Une diminution considérable de la vitesse de recharge a été observée lorsque la température a été réduite en dessous de 0°C. Pour un voltage limite imposé de 14.3 V et une durée de charge de 7 heures, les rendements en courant (Rc) et en énergie électrique (Re), calculés en tenant compte du phénomène de récupération de la capacité, sont respectivement 92±6% et 62±4% aux températures inférieures à 0°C. Le courant utile de recharge augmente lorsque le voltage limite imposé passe de 13.7 à 14.3 V aux basses températures. Au-delà de 14.3 V les réactions parasites consomment une partie importante du courant supplémentaire.		

PREVIOUS PAGE
IS BLANK

KEY WORDS

accumulateur au plomb
 recharge aux basses températures
 phénomène de récupération de la capacité
 influence du voltage de recharge
 rendements en courant et en énergie

INSTRUCTIONS

1. **ORIGINATING ACTIVITY**: Enter the name and address of the organization issuing the document.
- 2a. **DOCUMENT SECURITY CLASSIFICATION**: Enter the overall security classification of the document including special warning terms whenever applicable.
- 2b. **GROUP**: Enter security reclassification group number. The three groups are defined in Appendix 'M' of the DRB Security Regulations.
3. **DOCUMENT TITLE**: Enter the complete document title in all capital letters. Titles in all cases should be unclassified. If a sufficiently descriptive title cannot be selected without classification, show title classification with the usual one-capital-letter abbreviation in parentheses immediately following the title.
4. **DESCRIPTIVE NOTES**: Enter the category of document, e.g. technical report, technical note or technical letter. If appropriate, enter the type of document, e.g. interim, progress, summary, annual or final. Give the inclusive dates when a specific reporting period is covered.
5. **AUTHOR(S)**: Enter the name(s) of author(s) as shown on or in the document. Enter last name, first name, middle initial. If military, show rank. The name of the principal author is an absolute minimum requirement.
6. **DOCUMENT DATE**: Enter the date (month, year) of Establishment approval for publication of the document.
- 7a. **TOTAL NUMBER OF PAGES**: The total page count should follow normal pagination procedures, i.e., enter the number of pages containing information.
- 7b. **NUMBER OF REFERENCES**: Enter the total number of references cited in the document.
- 8a. **PROJECT OR GRANT NUMBER**: If appropriate, enter the applicable research and development project or grant number under which the document was written.
- 8b. **CONTRACT NUMBER**: If appropriate, enter the applicable number under which the document was written.
- 8c. **ORIGINATOR'S DOCUMENT NUMBER(S)**: Enter the official document number by which the document will be identified and controlled by the originating activity. This number must be unique to this document.
- 9b. **OTHER DOCUMENT NUMBER(S)**: If the document has been assigned any other document numbers (either by the originator or by the sponsor), also enter this number(s).
10. **DISTRIBUTION STATEMENT**: Enter any limitations on further dissemination of the document, other than those imposed by security classification, using standard statements such as
 - (1) "Qualified requesters may obtain copies of this document from their defence documentation center."
 - (2) "Announcement and dissemination of this document is not authorized without prior approval from originating activity."
11. **SUPPLEMENTARY NOTES**: Use for additional explanatory notes.
12. **SPONSORING ACTIVITY**: Enter the name of the departmental project office or laboratory sponsoring the research and development. Include address.
13. **ABSTRACT**: Enter an abstract giving a brief and factual summary of the document, even though it may also appear elsewhere in the body of the document itself. It is highly desirable that the abstract of classified documents be unclassified. Each paragraph of the abstract shall end with an indication of the security classification of the information in the paragraph (unless the document itself is unclassified) represented as (TS), (S), (C), (R), or (U).

The length of the abstract should be limited to 20 single-spaced standard typewritten lines, 7½ inches long.
14. **KEY WORDS**: Key words are technically meaningful terms or short phrases that characterize a document and could be helpful in cataloging the document. Key words should be selected so that no security classification is required. Identifiers, such as equipment model designation, trade name, military project code name, geographic location, may be used as key words but will be followed by an indication of technical context.

END

FILMED

3-84

DTIC